



УДК 621.438

## РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

## DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A CLOSED- CYCLE GAS TURBINE PLANT

**Марченко Юрий Глебович**, студент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [jurijmarchenko@rambler.ru](mailto:jurijmarchenko@rambler.ru), Тел.: +7(922)296-45-31

**Богданец Сергей Владимирович**, студент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

**Калинин Илья Александрович**, студент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: [kalininilia1996@gmail.com](mailto:kalininilia1996@gmail.com). Тел.: +7(904)542-02-21

**Yuri G. Marchenko**, student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [jurijmarchenko@rambler.ru](mailto:jurijmarchenko@rambler.ru), Тел.: +7(922)296-45-31

**Sergey V. Bogdanets**, student at Department "Turbines and Engines", Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia.

**Ilya A. Kalinin**, student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: [kalininilia1996@gmail.com](mailto:kalininilia1996@gmail.com). Ph.: +7(904)542-02-21

**Аннотация:** В работе приведены результаты патентного поиска и обзора литературы по газотурбинным установкам замкнутого цикла. Разработана концепция проектируемой установки замкнутого цикла.

**Abstract:** The paper presents the results of a patent search and a literature review of closed cycle gas-turbine. The concept of the projected closed cycle gas-turbine is developed.

**Ключевые слова:** газотурбинная установка; замкнутый цикл; углекислый газ.

**Key words:** gas turbine; closed-cycle; carbon dioxide.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в мире наблюдаются тенденции к повышению эффективности, экологичности выработки энергии с помощью тепловых двигателей. Традиционный подход к генерированию электроэнергии с помощью газотурбинных установок открытого цикла, а также паротурбинных установок постепенно вытесняется альтернативными источниками энергии. Однако применение газотурбинных установок замкнутого цикла сочетает в себе преимущества традиционной и альтернативной выработки электроэнергии. Также установки замкнутого цикла имеют хорошую перспективу для применения при освоении космического пространства.

### ПАТЕНТНЫЙ ПОИСК

Чтобы определить уровень достигнутого прогресса техники в данной сфере был проведен патентный поиск в российских и зарубежных базах данных.

Патентный поиск в российских базах данных по запросам: закрытый цикл гту, замкнутый цикл гту, показал отсутствие актуальных разработок в данной тематике. Это говорит о том, что патентное поле в России свободно, что позволяет использовать зарубежные разработки, а также активно патентовать новые разработки.

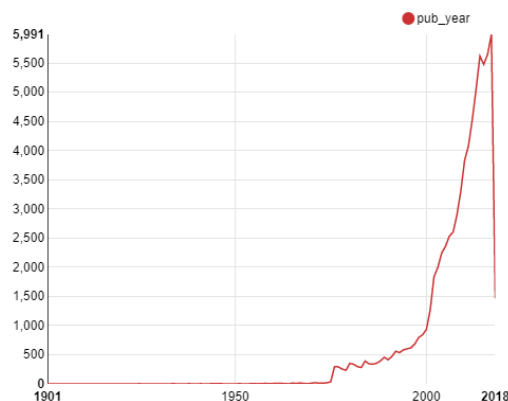


Рис. 1. График числа патентов и заявок на патенты в мире с 1901 года по поисковому запросу “closed-cycle gas turbine”

По результатам патентного поиска по зарубежным базам данных по поисковому запросу “closed-cycle gas turbine” найдено около 6000 патентов и заявок на патенты. Как видно из рисунка 1 разработки по ЗГТУ в данное время очень актуальны, причем пик исследований наблюдается в последние пару лет с последующей тенденцией роста.

Прогнозируя развитие энергетики вкупе с современными трендами, можно сказать о том, что использование газотурбинных установок замкнутого цикла займет существенную долю в генерации электроэнергии в будущем.

Развитием темы ЗГТУ занимаются ведущие компании (General Electric, Ford, Rolls Royce, Alstom, Siemens, Honeywell) в сфере как турбин, так и машиностроения в целом.

#### ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТОК

Обзор русскоязычной литературы показал, что существует достаточное количество книг и учебно-методических пособий для расчета и проектирования газотурбинных установок замкнутого цикла [1-5].

Разработки по ЗГТУ активно велись в СССР, проектировались опытные образцы, проводились исследования. ЗГТУ предназначались для космических аппаратов и имели мощность до 15МВт, а также для обеспечения марсианской базы мощностью 160кВт. К настоящему времени темпы исследований замедлились, однако государство финансирует некоторые исследования в этой сфере.

Большинство отечественных ЗГТУ проектируется для рабочего тела из гелийксеноновой смеси-аналога криптона [6].

Проектируемые установки обладают мощностью от 1кВт до 15МВт и имеют коэффициент полезного действия 13-17%.

На сегодняшний день в мире существует порядка 23-х проектов по проектированию ЗГТУ в разных стадиях разработки, начиная от стадии технического задания, заканчивая тестовой эксплуатацией. Наиболее эффективными являются установки, работающие по циклу Брайтона на сверхкритических параметрах CO<sub>2</sub> [7]. Основные разработчики таких установок: Feher Module, Sandia labs, SBL-30.

Применение CO<sub>2</sub> в качестве рабочего тела на сверхкритических параметрах обеспечивает высокую эффективность при небольших габаритах установки. Относительно низкие температуры цикла на CO<sub>2</sub> позволяют использовать установку с различными типами

источников тепла (ядерными реакторами, выхлопными газами тепловых машин и котлов, геотермальными и солнечными источниками). Низкие температуры позволяют снизить требования к жаростойкости материала.

Недостатками цикла на сверхкритическом углекислом газе являются: повышенная коррозия; высокие частоты вращения до 150 тыс.об/мин; необходимость разработки специальных подшипников.

#### РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ

Для проектирования установки, которая будет востребована на рынке генерации энергии будущего, необходимо определить концепцию, которой должна соответствовать разрабатываемая ЗГТУ.

Установка должна использоваться только для генерации электроэнергии с возможностью использования различных источников тепловой энергии. Сфера применения: рекуперация энергии выхлопных газов, космическая отрасль. Рабочее тело: углекислый газ.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Б.П. Симкин, Ю.Д. Никифоров К определению давления за компрессорами в установках замкнутого цикла. М.: МО ЦКТИ.
2. Манушин Э.А., Бекнев В.С., Осипов М.И., Суровцев И.Г. Ядерные газотурбинные и комбинированные установки. М.: Энергоатомиздат, 1993. 272 с.
3. Манушин Э.А., Михальцев В.Е., Чернобровкин А.П. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок. М.: Машиностроение, 1977. 447 с.
4. Атомные газотурбинные установки: учеб. пособие / С.М. Дмитриев; Нижегородский государственный технический университет им.Р.Е. Алексеева. – 2-е изд., испр. – Нижний Новгород, 2012. – 144 с
5. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок : учебник для вузов / [А. Н. Арбеков и др.] ; под общ. ред. А. Ю. Вараксина. — 4-е изд., испр. — Москва : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 678, [2] с. : ил.
6. А.Н. Арбеков, Б.Б. Новицкий Разработка макетного образца космической замкнутой газотурбинной установки // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета . 2014. №№5(47).
7. Peregrine turbine technologies URL: [https://peregrineturbine.com/our\\_work/](https://peregrineturbine.com/our_work/) (дата обращения: 11.02.2018).